Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology
Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

Mining Research Laboratories
Laboratoires de recherche minière

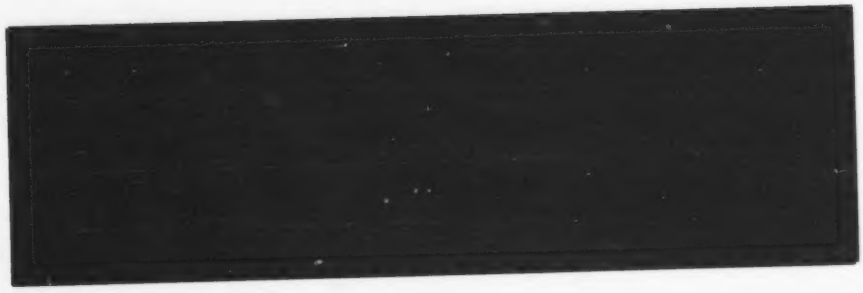
SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA MINE NIOBEC STABILITÉ DU PUITS D'EXTRACTION

LUC CLOSSET ET GUYLAINE HAMEL

MRL 90-134 (TR)

DÉCEMBRE 1990

Canada



SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA MINE NIOBEC
STABILITÉ DU PUITS D'EXTRACTION

LUC CLOSSET ET GUYLAINE HAMEL

MRL 90-134 (TR)

DÉCEMBRE 1990

This document was produced
by scanning the original publication.

Ce document est le rapport
numérisé produit et publié
par le

23 pp

SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA MINE NIOBEC STABILITÉ DU PUITS D'EXTRACTION

par

Luc Closset* et Guylaine Hamel*

RÉSUMÉ

Les Laboratoires de recherche minière du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) collaborent depuis plusieurs années avec la mine Niobec située à St-Honoré au Québec.

Dernièrement, le personnel technique de la mine Niobec a contacté les laboratoires de recheche minière pour proposer l'étude de la stabilité de la zone du puits d'extraction advenant l'exploitation d'une série de piliers situés à proximité de cet accès essentiel pour la continuation des opérations.

Pour étudier quantitativement l'influence des travaux, la simulation numérique en trois dimensions, par le biais du programme BEAP3D, utilisant la méthode des éléments frontières, a été retenue.

Quatre différentes simulations, incluant chacune quatre étapes d'exploitation, ont été éffectuées en se basant sur les données. Les résultats ont montré que l'exploitation projetée des piliers ne devrait pas avoir un effet négatif sur la stabilité du puits d'extraction. Cependant la création de murs de chantiers de grandes dimensions, perpendiculaires à la direction de la plus grande contrainte principale, devrait induire d'importantes contraintes de tension. Des éboulements rocheux pourraient en découler. Il est donc recommandé aux exploitants de tenir compte de ce fait ou de l'étudier plus précisément.

---

* Chercheurs en sciences physiques - Laboratoire canadien de technologie minière - Laboratoires de recherche minière - CANMET - Énergie, mines et ressources Canada, Ottawa

Mots clés : Simulation numérique, BEAP3D, éléments frontières, puits, pilier.

SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA MINE NIOBEC STABILITÉ DU PUITS D'EXTRACTION

by

Luc Closset* et Guylaine Hamel*

ABSTRACT

The Mining Research Laboratories of the Canada Centre for Minerals and Energy Technology (CANMET) have collaborated for several years on aspects of mining technology, with Niobec Mine, located in Saint-Honoré, Québec.

Recently, the technical staff at the mine contacted the Mining Research Laboratories to request a study on the recovery of a series of pillar located close to the main production shaft, an essential mine access.

The most useful tool, for this large scale study, was found to be three dimensionnal numerical simulation using BEAP3D, a software which is based on boundary element theory.

Four numerical simulations have been run,using the various mining options and available data; each simulation included four mining steps. Results have shown that the mining of the pillars should not have destabilising effects on the shaft area. However, this operation will create large stope walls perpendicular to the major principal stress orientation and large induced tension stresses parallel to the wall. A set of condition which could cause rock falls. It is firmly recommended that this issue should be adressed in a separate study using accurate stope geometry for further precision.

---

* Physical Scientists - Canadian Mining Technology laboratory - Mining Research Laboratories - CANMET - Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa

Key words : numerical simulation, BEAP3D, boundary element, shaft, pillars

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ i

ABSTRACT ii

INTRODUCTION 1

REVUE ET SÉLECTION DES DONNÉES 2
1. CONTRAINTES INITIALES DU MASSIF 2
2. LOI DE COMPORTEMENT DU MASSIF 3
3. GÉOMÉTRIE DES EXCAVATIONS 3

SIMULATIONS 8
1. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS 8
2. DISCUSSION DES RÉSULTATS 10

CONCLUSIONS 10

RECOMMANDATIONS 11

RÉFÉRENCES 12

ANNEXE 13
Présentation des contours de contrainte
et des facteurs de sécurité

LISTE DES TABLEAUX

N°
1. Étapes de minage 7
2. Simulations effectuées 8

LISTE DES FIGURES

N°
1. Niveau 300 et extension latérales des groupes de chantiers 4
2. Géométrie 1 sans surface 5
3. Géométrie 1 avec surface 6
4. Géométrie 2 7
5. Calcul des facteurs de sécurité 9

INTRODUCTION

Les Laboratoires de recherche minière du centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) collaborent depuis 1986 avec les exploitants de la mine Niobec à Saint-Honoré au Québec (Bétournay et al., Arjang, Labrie, Labrie et al.) pour mettre au point des méthodes efficaces pour la conception des excavations et la prévision de leur stabilité. L'étude décrite dans ce rapport poursuit cette lignée en évaluant l'influence de la récupération d'un groupe de piliers sur la zone du puits d'extraction toute proche.

La géologie du massif rocheux ainsi que la méthode utilisée pour l'exploitation minière ont déjà fait l'objet de rapports et publications. Nous conseillons dès lors au lecteur de s'y référer pour avoir une vue complète de ces sujets (Bétournay & al., Gendron & al.).

Notons cependant, pour fin de compréhension, que la mine exploite des veines subverticales riches en niobium, situées dans un massif de carbonatite, lui-même surmonté d'une centaine de mètres de roche sédimentaire dénommée calcaire de Trenton. Les chantiers, d'extension variables dans le plan horizontal, sont subverticaux et d'une hauteur d'environ 100 mètres (300 pieds). Deux niveaux sont actuellement en exploitation, séparés par un pilier horizontal d'une trentaine de mètres d'épaisseur (100 pieds).

L'étude utilise la simulation numérique pour prédire de façon appropriée et économique la variation des contraintes dans la zone du puits. L'utilisation d'un modèle tri-dimensionnel est nécesssaire en raison de la complexité de la géométrie. Pour des raisons d'économie, de temps et de moyens, notre choix s'est porté sur l'utilisation d'une méthode dite aux éléments frontières, qui permet de résoudre les équations aux dérivées partielles des lois de l'élasticité en ne réalisant qu'une intégration que sur les surfaces délimitant le modèle, c'est-à-dire principalement les parois des excavations. Cette méthode permet d'éviter une intégration volumique qui demande la discrétisation totale du modèle. Elle est beaucoup plus coûteuse en terme de préparation des données et temps de calcul. Le lecteur qui désirerait se familiariser avec la technique de simulation pourra aisément trouver ailleurs une description exhaustive de la méthode (Lachat et Watson, Starfield et Crouch, Diering, Yu et al ...)

Ce rapport est divisé en cinq grandes parties, qui soulignent les étapes de réalisation d'une telle étude:

1) Revue et sélection des données
2) Simulations
3) Résultats
4) Conclusions
5) Recommandations

REVUE ET SÉLECTION DES DONNÉES

La simulation numérique d'une structure minière repose sur les données suivantes, qui doivent être déterminées, mesurées, calculées ou estimées pour permettre la création d'un modèle numérique aussi fiable que possible ou tout au moins dans un domaine acceptable de précision:

a) les forces s'appliquant sur le modèle ou, dans le cas d'une structure minière, les contraintes initiales présentes dans le massif;

b) la loi de comportement du massif rocheux et les paramètres qui s'y rattachent; et

c) la géométrie des excavations et la séquence de leur création.

CONTRAINTES INITIALES DU MASSIF

Les contraintes initiales du massif ont été mesurées en 1987 par Arjang et montre la présence de contraintes tectoniques horizontales importantes. Le nombre de mesures valides et de sites de mesure présentés dans le rapport est assez faible. Du fait de leur variabilité importante et de leur relative concentration dans l'espace, l'établissement d'une loi de variation avec la profondeur est complexe. Les concepteur du logiciel BEAP ont supposé que les contraintes initiales variaient avec la profondeur de façon linéaire. Il est possible d'écrire:

$$\sigma_{ij} = A_{ij} + B_{ij}\, z$$

où la variable z représente la profondeur.

Pour vérifier la stabilité de la zone du puits, deux modèles différents de variation des contraintes initiales en fonction de la profondeur ont été considérés. Le premier type de chargement, qui avait déjà été utilisé pour la simulation numérique en deux dimensions de la mine Niobec (voir Labrie et Closset, 1989), peut alors être défini par les paramètres A_{ij} et B_{ij} suivants :

$$A_{ij} = B_{ij} = 0 \quad si\ i \neq j$$
$$A_{xx} = 16.35$$
$$A_{yy} = 3.35$$
$$A_{zz} = 0$$
$$B_{xx} = B_{yy} = 0.0145$$
$$B_{zz} = 0.027$$

Les contraintes étant exprimées en MPa et les profondeurs en mètres

Ce chargement montre une contrainte initiale Est-Ouest importante qui varie faiblement avec la profondeur, une contrainte Nord-Sud beaucoup moins importante et qui varie de la même manière que l'autre contrainte horizontale avec la profondeur. La contrainte verticale est due uniquement au poids des terrains incombants.

Le second type de chargement peut être considéré comme plus traditionnel puisqu'il suppose toutes les contraintes initiales nulles à la surface:

$$A_{ij} = 0$$
$$B_{ij} = 0 \quad si\ i \neq j$$
$$B_{xx} = 0.0845$$
$$B_{yy} = B_{zz} = 0.027$$

Dans ce cas également, la contrainte verticale est uniquement due au poids des terrains. Remarquons que pour ce type de chargement initial, le rapport des contraintes principales reste constant avec la profondeur (3/1/1).

LOI DE COMPORTEMENT DU MASSIF

Le logiciel BEAP ne permet que la simulation des massifs élastiques linéaires et isotropes. Ce comportement est parfaitement applicable macroscopiquement au massif rocheux de la mine Niobec qui est peu fissuré, proche de la surface et donc soumis à des contraintes faibles comparées à la résistance de la matrice rocheuse et n'est recoupé par aucune faille majeure.

De plus, comme nous le verrons dans le prochain paragraphe nous pouvons supposer le massif homogène, l'intensité des contraintes dans ce massif devrait donc être indépendante des modules élastiques introduits comme données dans les simulations.

GÉOMÉTRIE DES EXCAVATIONS

La géométrie des excavations a été extraite des plans et sections préparés par la mine durant l'été 1990. Au premier examen de ces documents, il s'est vite avéré que, si la zone des chantiers les plus proches du puits d'extraction était décrite par plans et sections, les chantiers adjacents étaient délimités sommairement et incomplètement sur quelques vues en plans. De plus, à la suite de la revue plus détaillée des chantiers de la zone centrale, de nombreuses inexactitudes et incompatibilités entre les différentes vues, ont rendu la création d'un modèle précis pratiquement impossible.

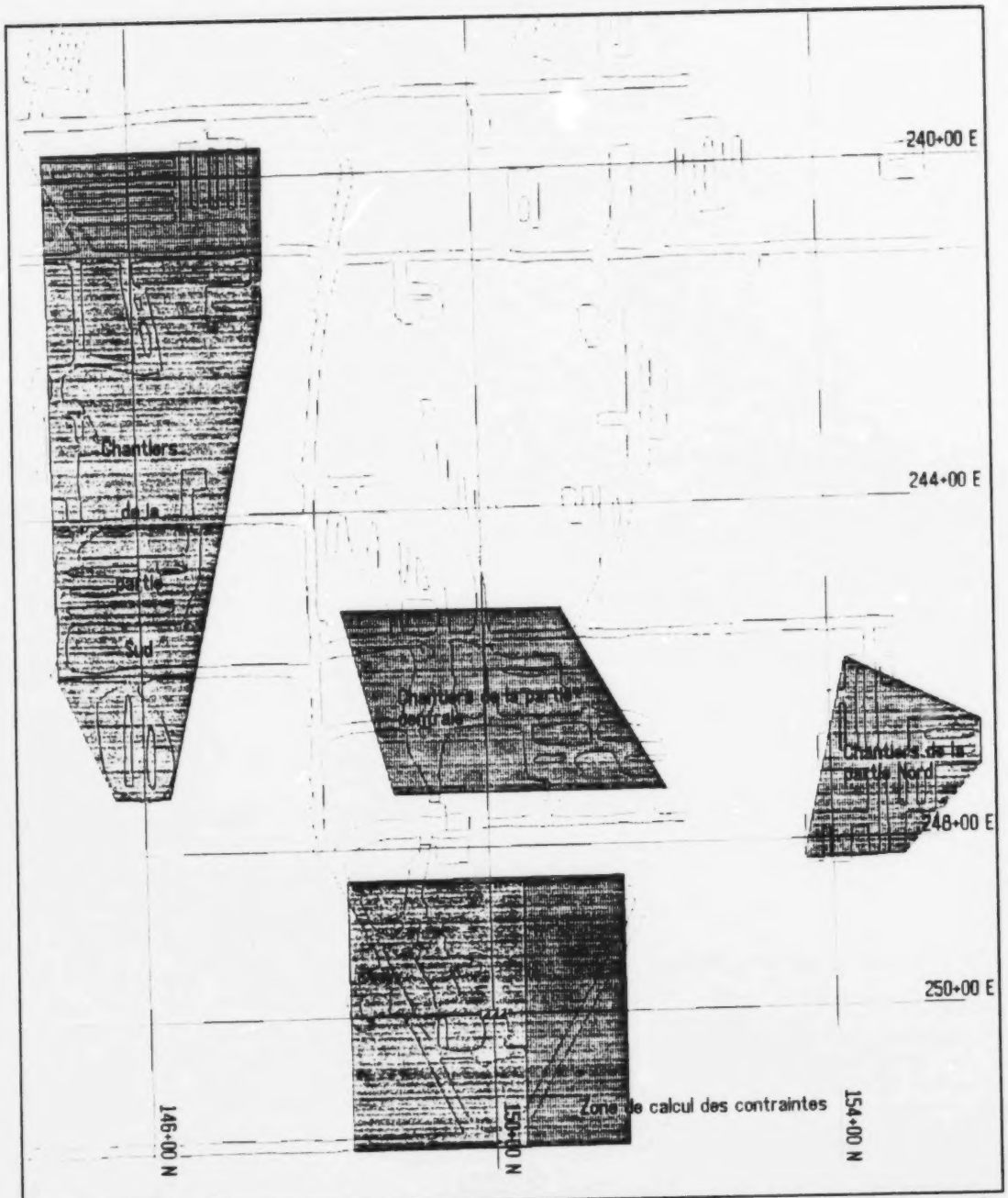


Figure 1. Niveau 300 et extension latérale des groupes de chantiers

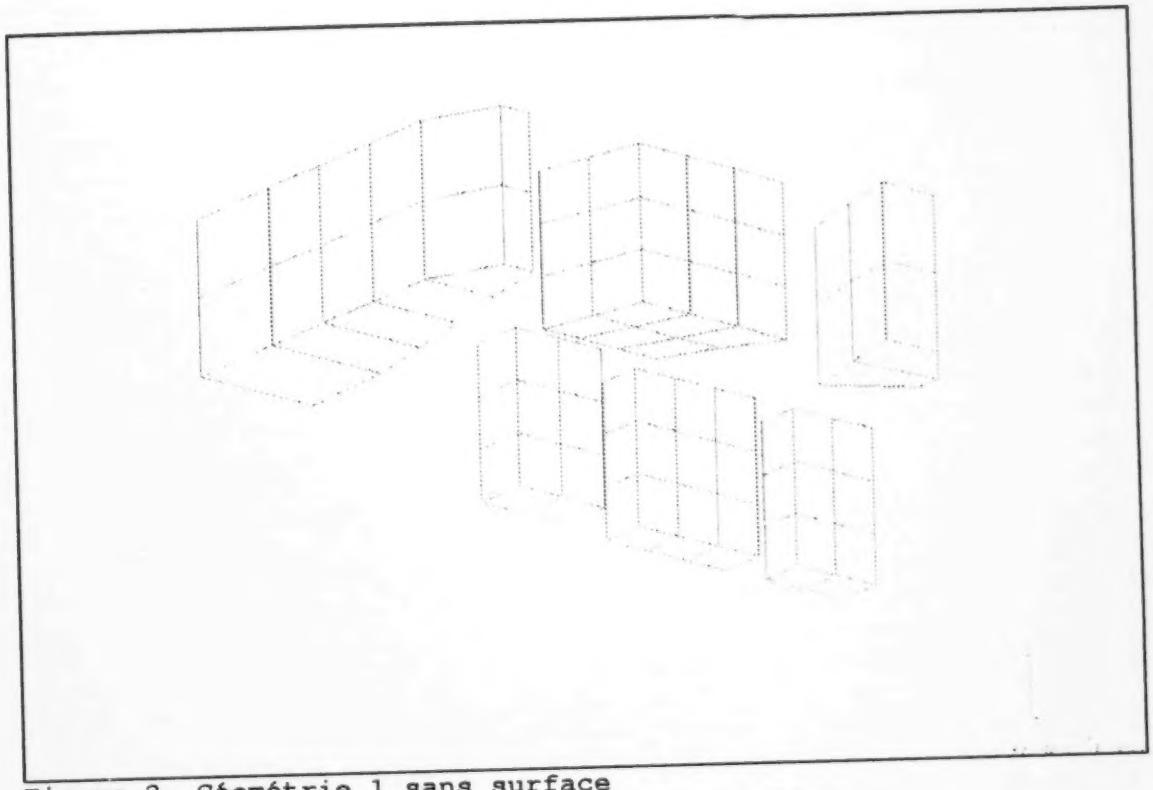


Figure 2. Géométrie 1 sans surface

Enfin, des contraintes budgétaires, temporelles et matérielles (disponibilités des équipements informatiques, espace disque disponible etc.) s'appliquaient au projet. Il était donc nécessaire de simplifier les géométries pour permettre des simulations relativement rapides.

Deux différentes géométries ont, dès lors, été créées: la première s'est inspirée des vues en plans. L'extension horizontale maximale des chantiers a été estimée (voir figure 1), et l'on a supposé une extension verticale continue entre les élévations -300 et -600 pour le premier niveau et -700 et -1000 pour le second niveau. Cette première géométrie s'est vue adjoindre une surface située à l'élévation 0. Du fait de l'imprécision de la représentation, les piliers de petites dimensions ont été supposés minés. Cette procédure exagère donc de manière significative les influences réelles de l'exploitation sur la zone du puits et propose donc une borne supérieure des résultats.

Dans aucun des deux cas, l'excavation du puits en elle-même n'a été explicitement simulée. Le but des simulations présentées dans ce rapport étant plus de vérifier les modifications des contraintes autour du puits, dues à l'influence des chantiers environnants, que les modifications de contraintes dues à la

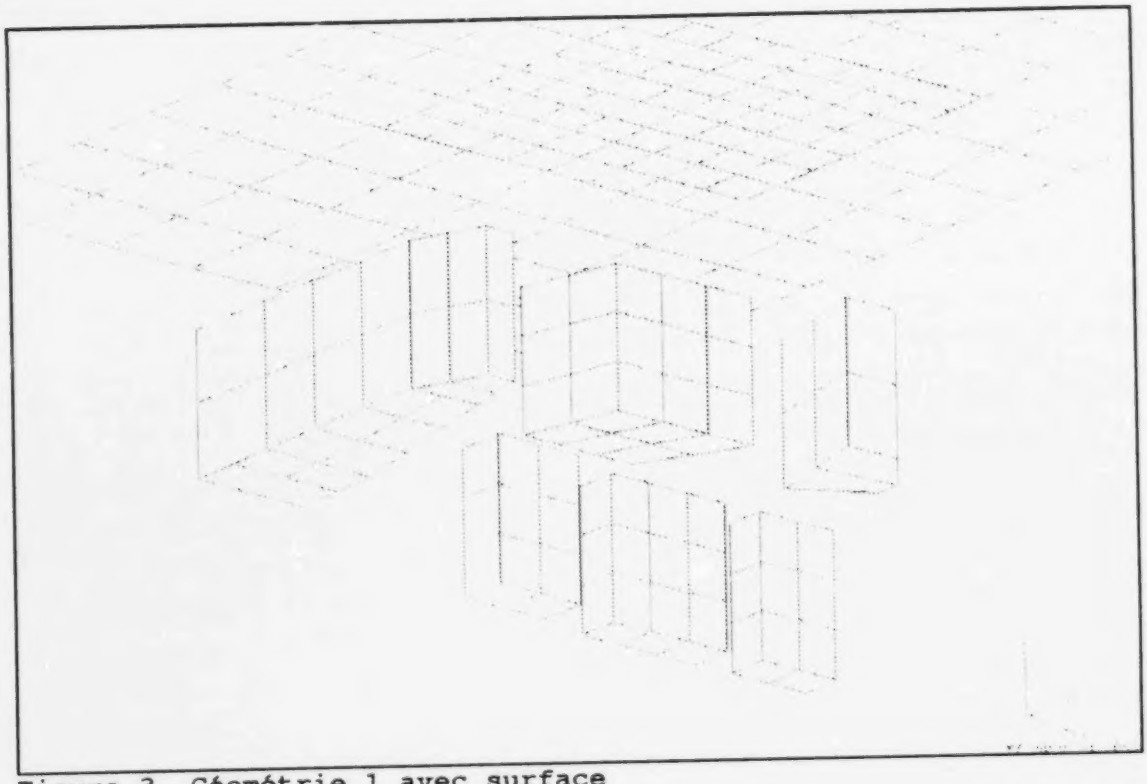


Figure 3. Géométrie 1 avec surface

présence même du puits. Les résultats obtenus montreront donc plus des tendances que des données quantitatives.

Vu le faible degré de précision de la géométrie, nous avons omis, pour les deux cas, la présence du calcaire de Trenton, ou plutôt supposé qu'il jouissait des mêmes propriétés élastiques que la carbonatite qu'il surplombe.

Le logiciel BEAP3D permettant la simulation d'étapes d'excavation, nous en avons créés quatre pour montrer l'influence des excavations périphériques. Le tableau 1 reprend les différentes étapes de minage.

La seconde géométrie est similaire à la première, à l'exception des chantiers de la zone centrale, qui sont définis géométriquement de manière plus précise.

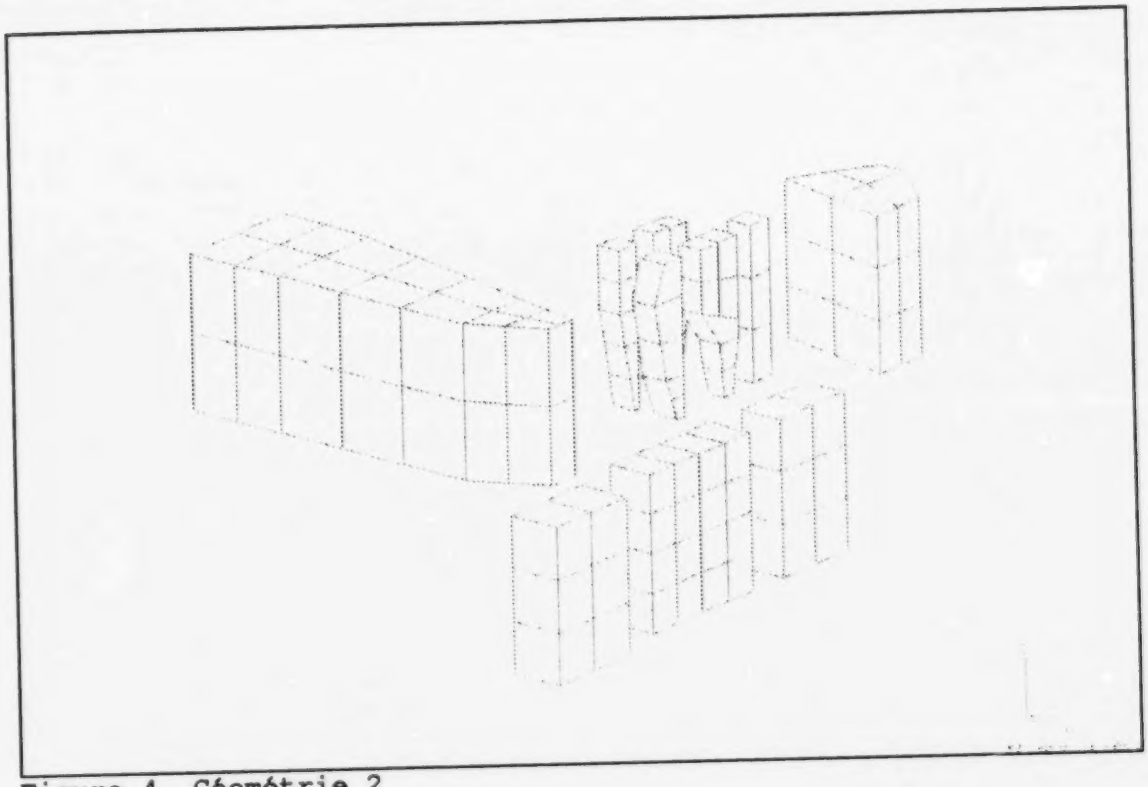


Figure 4. Géométrie 2

Etape	Description	Chantiers et piliers
1	Partie centrale Niveau Supérieur	203-09, 211-09, 201-09, L03-09, L11-09, T-03-09, T11-11, T-01-11, 211-11, 201-11, L11-11, T-11-13, T-01-13
2	Partie Centrale Niveau Inférieur	203-11, 201-11
3	Chantiers Adjacents Nord	214-09,204-11, 204-09 208-11
4	Chantiers Adjacents Sud	202-08, 202-10, 206-10, 202-12, 206-B-12, 206-12, 206-14, 202-14, 202-08

Tableau 1. Étapes de minage

SIMULATIONS

Quatre différentes simulations ont été éffectuées utilisant le logiciel d'éléments frontières en trois dimensions BEAP3D. Le logiciel fonctionnait sur un mini-ordinateur SUN 4/270, utilisant le système d'exploitation Unix et qui dispose de 32 mégabytes de mémoire vive ainsi que d'un disque dur de 900 mégabytes.

Modèle	Partie Centrale	Surface	Chargement	Nombre d'éléments	temps CPU
1	simplifiée	non	1	163	2.52
2	simplifiée	oui	1	308	6.13
3	simplifiée	oui	2	308	6.13
4	détaillée	non	1	303	

Tableau 2. Simulations effectuées

En combinant les deux géométries, la présence possible de la surface du sol, ainsi que les deux modèles de chargement initiaux, quatre différents modèles ont été créés. Le tableau ci-dessus définit les caractéristiques de chaque modèle.

Les temps de calculs donnés à la dernière colonne ne représentent que le temps nécessaire pour le création de la matrice globale et le calcul de la solution. Les temps de calcul que nécessite l'obtention des contraintes et déformations aux points internes ne sont pas inclus.

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Le post-processeur graphique du logiciel BEAP3D permet de représenter des projections isométriques ou axonométriques des contraintes autour des excavations . Il rend également possible la représentation des facteurs de sécurité associés à des critères de résistance. Les figures reproduites en annexe montrent pour chacun des modèles lors de la quatrième étape de minage, les contraintes suivant les axes X, Y et Z ainsi que l'intensité des contraintes principales. Pour l'étude approfondie des solutions, des diapositives ont été créées ainsi que de petites séquences d'animation qui permettent d'observer le modèle sous une suite d'orientations différentes.

Les contraintes ont été calculées dans une région de forme parrallélipédique centrée sur la zone du puits et dont l'extension dans le plan horizontal est de 100 mètres par 100 mètres et l'extension verticale est de 200 mètres. Le toit de cette

zone se trouve à une profondeur de 100 mètres sous la surface. Les contraintes sont représentées ensuite sur deux plans verticaux, l'un orienté Est-Ouest et l'autre Nord-Sud. Ces deux plans se coupent au centre du puits. Cette géométrie de représentation des résultats permet d'avoir une image précise de la variation des contraintes due au minage des chantiers dans la zone du puits.

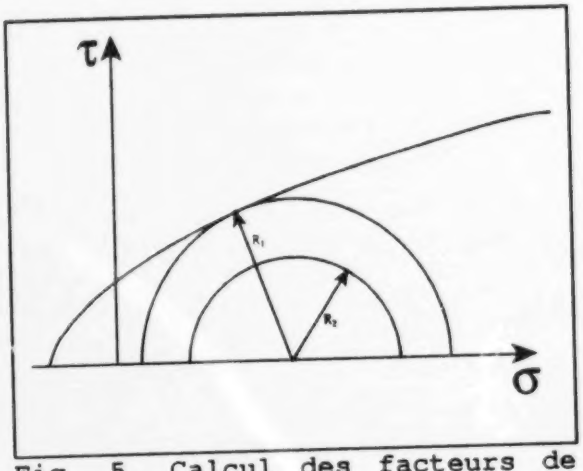


Fig. 5. Calcul des facteurs de sécurité

Nous avons également représenté sur ces plans des contours montrant les facteurs de sécurité associés à un critère de Coulomb correspondant à une cohésion de 4.5 MPa et un angle de frottement de 36 degrés , ce qui devrait correspondre à la borne inférieure des propriétés mécaniques de résistance du massif (non-perturbé) de la mine Niobec. Ces valeurs ont été extraites du rapport de Labrie & al. (1989).

Les facteurs de sécurité sont calculés grâce à la représentation des contraintes suivant leurs composantes dans l'espace de Mohr (figure 5). Les contraintes qui s'appliquent sur une facette quelconque peuvent être déterminées par la construction du cercle de Mohr correspondant. Il intersecte l'axe des contraintes normales aux valeurs des contraintes principales majeures et mineures. Si ce cercle recoupe la courbe représentant le critère, l'état de contraintes provoquera la rupture. En se basant sur cette représentation géométrique il est possible de définir le facteur de sécurité comme étant le rapport des rayons du cercle de Mohr réel et de celui qui provoque la rupture (tangent à la droite représentant le critère de Coulomb).

De plus, pour caractériser l'influence réelle de l'exploitation nous avons représenté la différence du facteur de sécurité avant et après l'excavation des chantiers. Une influence stabilisante est définie par des valeurs supérieures à 0, et déstabilisante par des valeurs inférieures à 0. Les figures représentant ces analyses sont également présentées en annexe.

DISCUSSION DES RÉSULTATS

L'examen détaillé des figures décrites dans le paragraphe précédent montre que :

1. L'influence de la modélisation de la surface est très faible et ne fait que peu varier les contraintes dans la zone du puits.

2. L'influence des chantiers adjacents à la partie centrale est non négligeable dans la zone du puits et ceci est particulèrement vrai pour les chantiers de la partie Sud du modèle, vu leurs grandes dimensions. Les résultats des simulations après la quatrième étape de minage ont donc été présentés dans ce rapport.

3. L'exploitation de chantiers de grandes dimensions dans la partie centrale semble avoir un effet stabilisant sur la zone du puits en créant un effet de barrière à la contrainte principale majeure orientée Est-Ouest.

4. La concentration de contrainte horizontale due à la présence du pilier horizontal entre les niveaux supérieur et inférieur est complètement atténuée dans la zone du puits.

5. La création de murs de chantier de grandes dimensions orientés Nord-Sud crée des zones importantes de tension et pourrait conduire à des instabilités, si de tels chantiers étaient effectivement créés.

CONCLUSIONS

L'influence de l'exploitation d'une zone de minerai située à proximité du pilier du puits d'extraction de la mine Niobec au Québec a été étudiée grâce à la simulation numérique. L'utilisation d'un modèle en trois dimensions étant nécessaire, le logiciel BEAP3D a été utilisé. Les données ne permettant pas la construction d'un modèle détaillé, ainsi que des impératifs budgétaires, horaires et pratiques, un modèle approximatif a été construit en idéalisant et simplifiant la géométrie des excavations. Les résultats ainsi obtenus, puisque la dimension réelle des chantiers a été surestimée, devraient constituer des bornes supérieures (en valeur absolue) des valeurs réelles.

Les résultats montrent cependant que l'excavation des chantiers et piliers de la lentille 211 devrait avoir un effet stabilisant sur la zone du puits. L'effet de concentration de contrainte dans le pilier horizontal ne se fait ressentir que faiblement dans cette zone.

Les résultats montrent cependant que des zones de tensions importantes, qui pourraient donner lieu à des instabilités, sont prévisibles dans les murs des chantiers orientés Nord-Sud. L' imprécision géométrique du modèle dans ces zones ne nous permet cependant pas de statuer actuellement sur leur gravité.

RECOMMANDATIONS

A notre avis, la précision des résultats obtenus, avec les simulations sur la géométrie simplifiée et avec les deux modèles de contraintes initiales considérés est suffisante pour prendre une décision quant à la continuation de l'exploitation des piliers de la zone centrale en considérant son influence sur la zone de puits. Il n'en est cependant pas de même pour en ce qui concerne la stabilité des chantiers eux-mêmes. Il serait donc préférable d'étudier de manière plus détaillée, la géométrie des chantiers et de créer un modèle adéquat. De plus, l'imprécision laissée par la variation des contraintes initiales avec la profondeur devrait être réduite soit par une nouvelle campagne de mesure, soit grâce au suivi précis et méthodique des mesures de l'instrumentation encore en place dans le massif.

RÉFÉRENCES

1. Bétournay M.C., Yu Y.S., and Thivierge S., 1987. " A case study of surface crown pillars : The Niobec mine" ; Division Report MRL 87-104(OP,J),Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 14 p.

2. Arjang B., 1989. "Field stress determination at the Niobec mine, Chicoutimi, Québec": Division Report MRL 87-15 (TR), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 16 p. + appendix.

3. Labrie D., 1987. "Etude de stabilité à la mine Niobec: Supplément No 4, essais de laboratoire", Projet STM-526, Centre de recherches minérales, Ministère de l'énergie et des Ressources, Sainte-Foy (Québec), 54 p. + annexe

4. Labrie D., Closset L., 1989. " Etude de stabilité à la Mine Niobec : Rapport final (3. Supplément pour la conception des excavations)", MRL 89-10 (TR), Laboratoires de recherche minière, CANMET, Energie, Mines et ressources Canada, Ottawa, 30 p. + Annexes.

5. Gagnon, G., Gendron, L.A., 1977. "The geology and current development of the Saint-Honoré niobium (columbium) deposit", 79ème Congrès général annuel de l'ICM, 34 p.

6. Cube Systems, 1990, "Post processor for the BEAP Program - User Manual", CANMET contract 23440-9-9137, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 26 p.

7. Yu, Y.S., Closset L., Diering, J.A.C., 1990, "BEAP3D - a boundary application package for three dimensional stress analysis of mine structures" in "Stresses in Underground Structures", CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, pp 140-150.

8. Crouch S.L., Starfield A.M., 1983. "Boundary element method in solid mechanics.", George Allen & Unwin, Londres, 322 p.

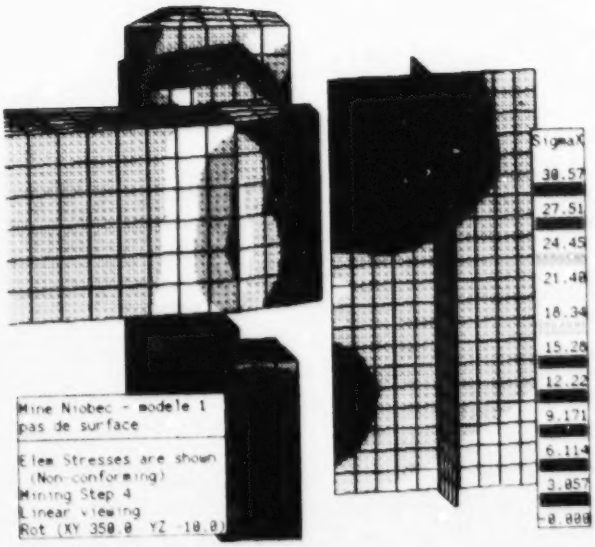
9. Diering J.A.C, 1990. "Geotechnical database for ground control -Numerical modelling - BEAP user manual.", CANMET Contract 14SQ.23440-4-9147-4, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 71 p.

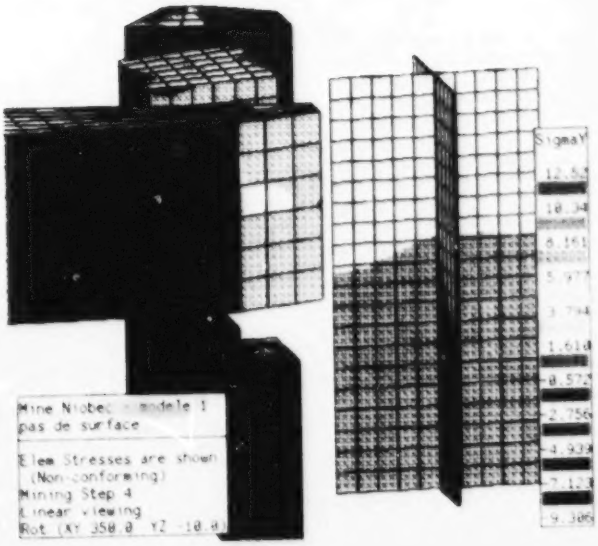
ANNEXE

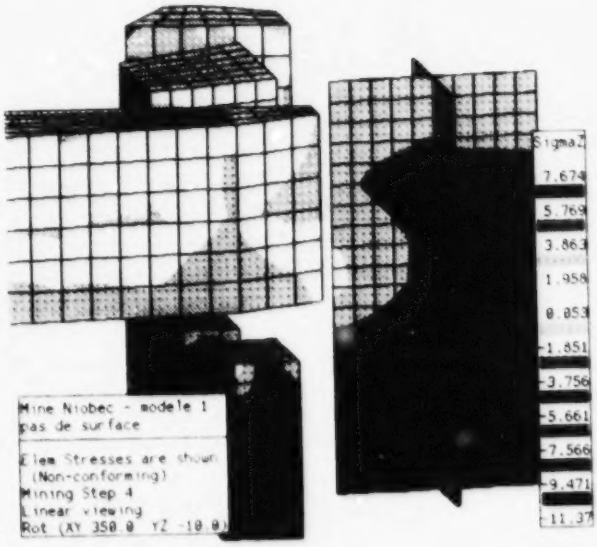
Présentation des contours de contrainte
et des facteurs de sécurité

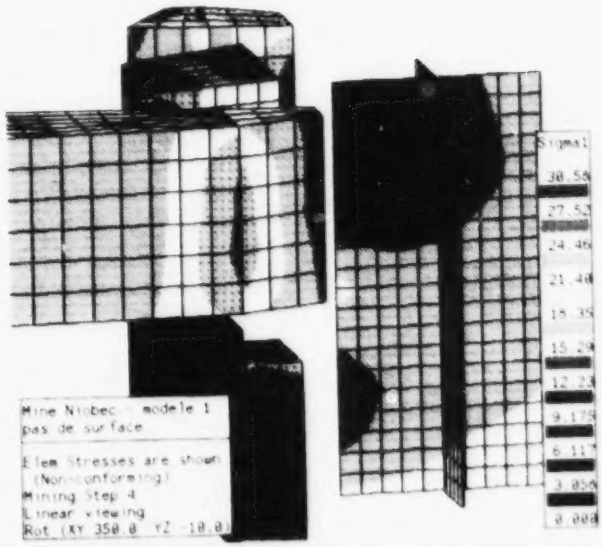
Note:

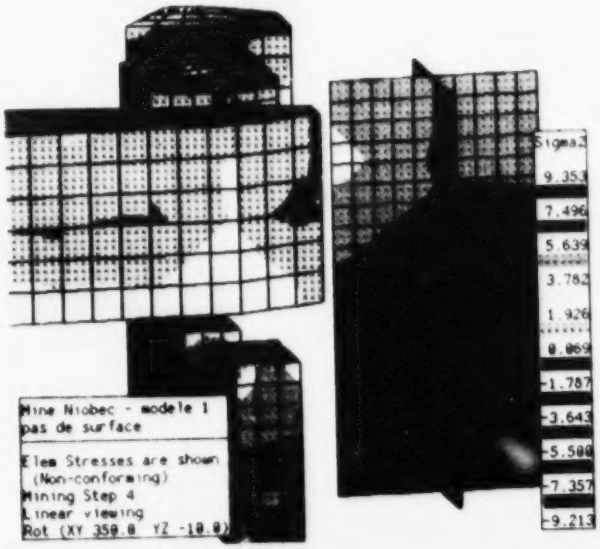
SigmaX = contrainte normale Est-Ouest
SigmaY = contrainte normale Nord-Sud
SigmaZ = contrainte normale verticale
Sigma1 = contrainte principale majeure
Sigma2 = contrainte principale intermédiaire
Sigma3 = contrainte principale mineure
User1 = facteur de sécurité (voir page 9)
Err/U2 = différence des facteurs de sécurité avant et après l'exploitation

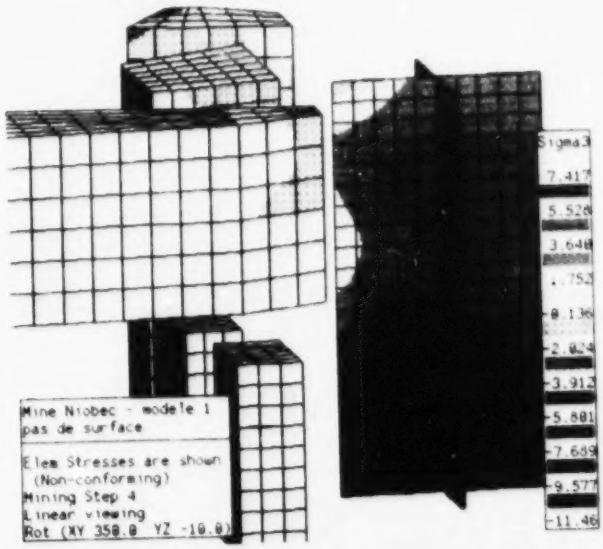

Sigma1
30.57
27.51
24.45
21.40
18.34
15.28
12.22
9.171
6.114
3.057
-0.000
Mine Niobec - modele 1
pas de surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)

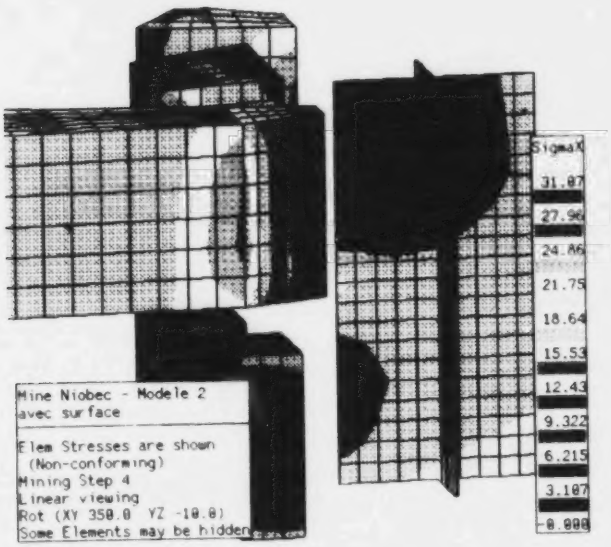

Sigma1
Mine Niobec - modele 1
pas de surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)

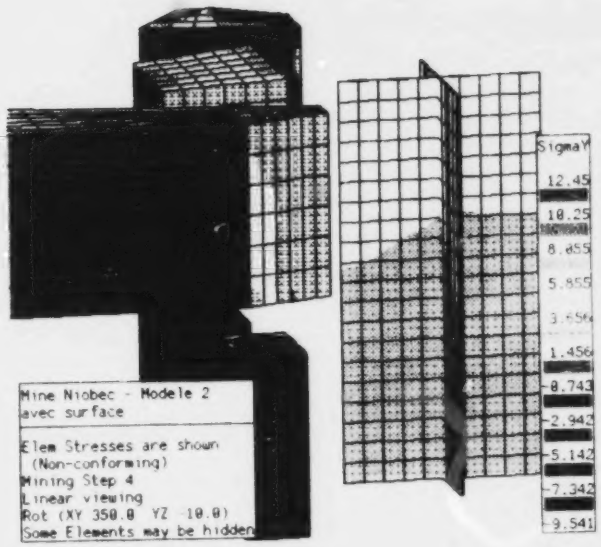

Sigma2
7.674
5.769
3.863
1.958
0.053
-1.851
-3.756
-5.661
-7.566
-9.471
-11.37
Mine Niobec - modele 1
pas de surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)

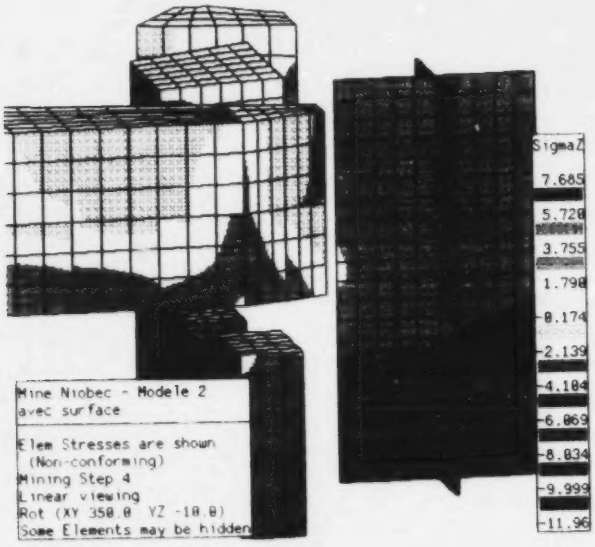

Sigma1
Mine Niobec - modele 1
pas de surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)

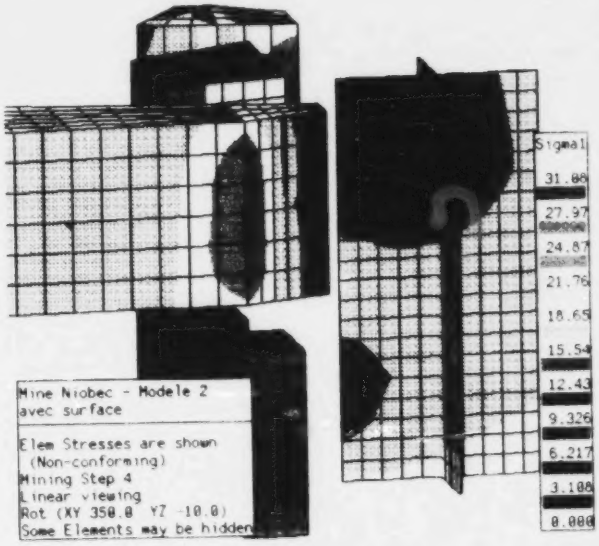

Sigma2
9.353
7.496
5.639
3.782
1.926
0.069
-1.787
-3.643
-5.500
-7.357
-9.213
Mine Niobec - modele 1
pas de surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)

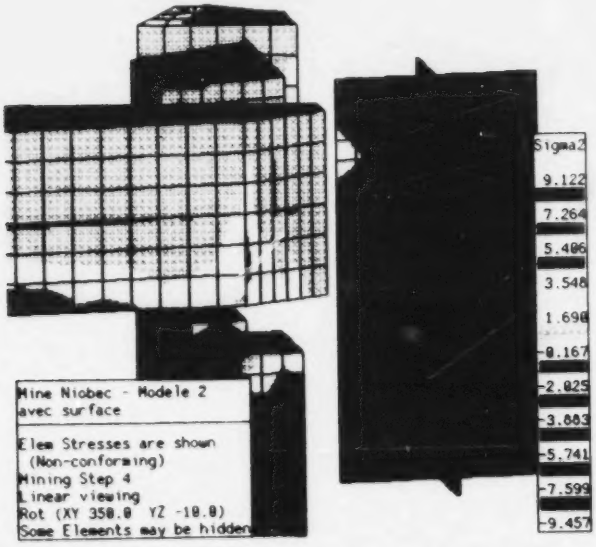

Sigma3
7.417
5.526
3.640
1.753
-0.136
-2.024
-3.913
-5.801
-7.689
-9.577
-11.46
Mine Niobec - modele 1
pas de surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)

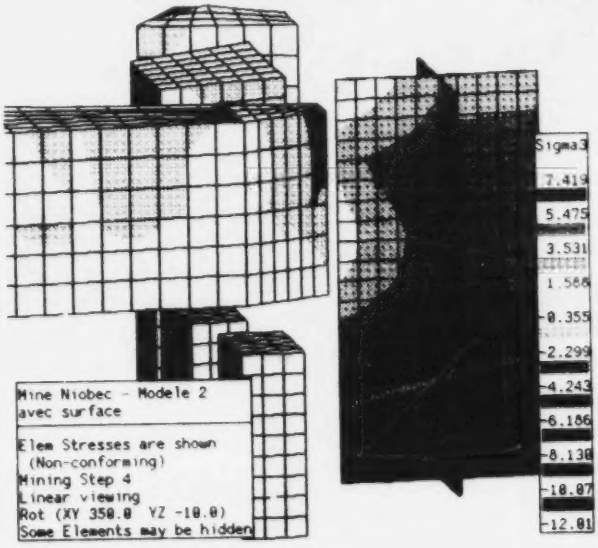

SigmaX
31.07
27.96
24.86
21.75
18.64
15.53
12.43
9.322
6.215
3.107
-0.000
Mine Niobec - Modele 2
avec surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

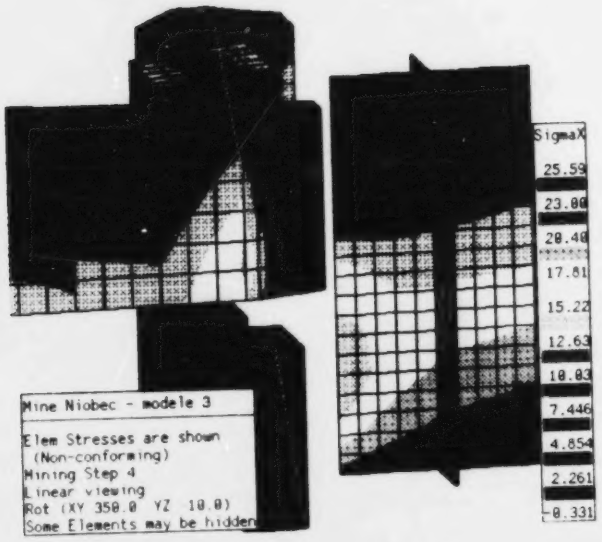

SigmaY
12.45
10.25
8.055
5.855
3.656
1.456
-0.743
-2.942
-5.142
-7.342
-9.541
Mine Niobec - Modele 2
avec surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

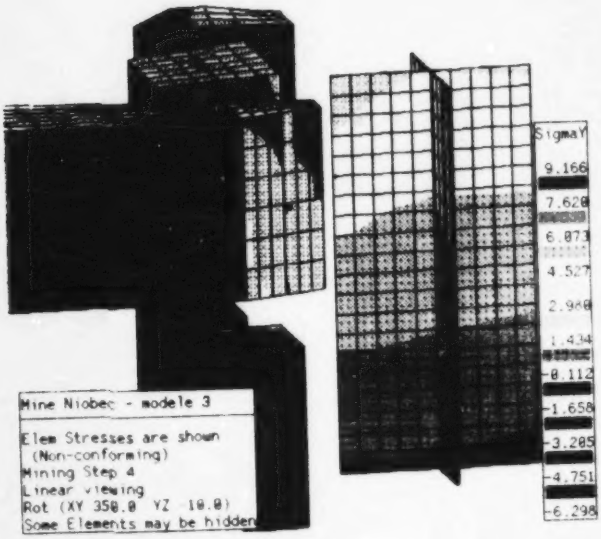

SigmaZ
7.685
5.720
3.755
1.790
-0.174
-2.139
-4.104
-6.069
-8.034
-9.999
-11.96
Mine Niobec - Modele 2
avec surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

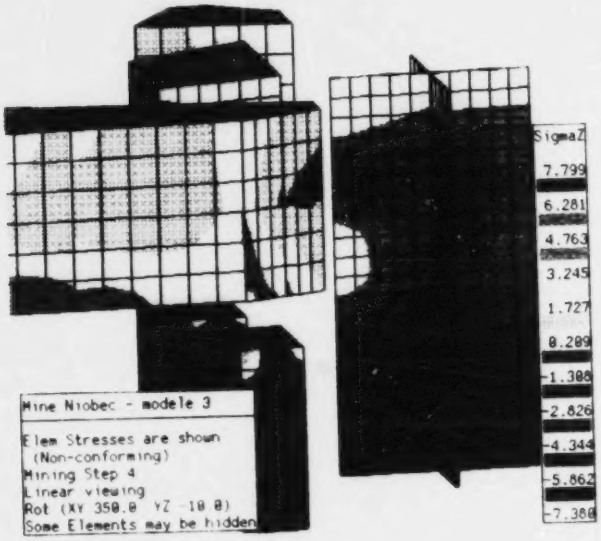

Sigma1
31.08
27.97
24.87
21.76
18.65
15.54
12.43
9.326
6.217
3.108
0.000
Mine Niobec - Modele 2
avec surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

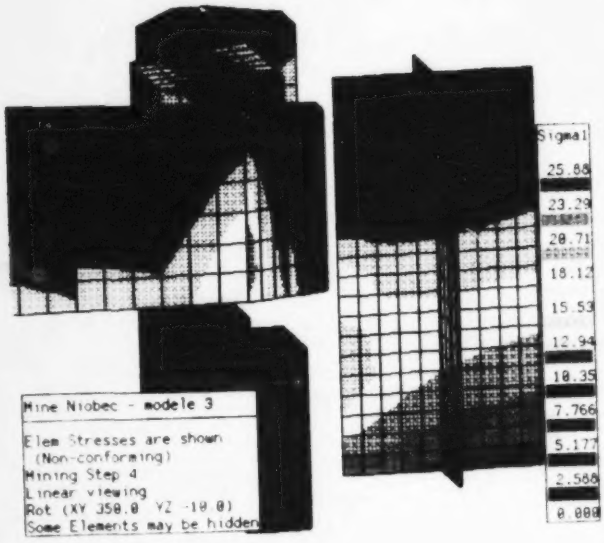

Sigma2
9.122
7.264
5.406
3.548
1.690
-0.167
-2.025
-3.883
-5.741
-7.599
-9.457
Mine Niobec - Modele 2
avec surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

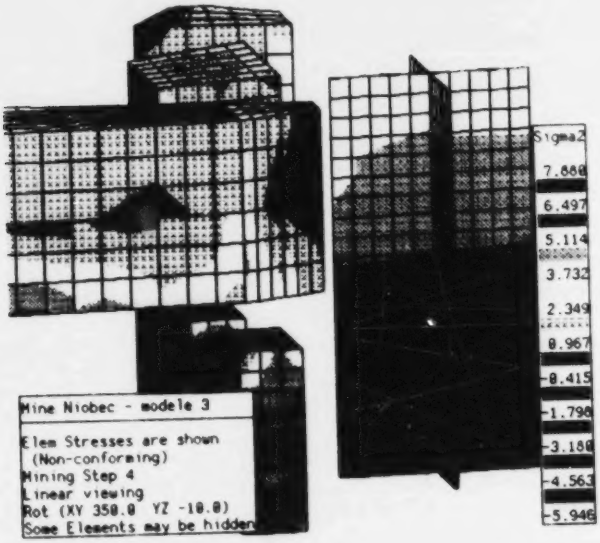

Sigma3
7.419
5.475
3.531
1.586
-0.355
-2.299
-4.243
-6.186
-8.130
-10.07
-12.01
Mine Niobec - Modele 2
avec surface
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

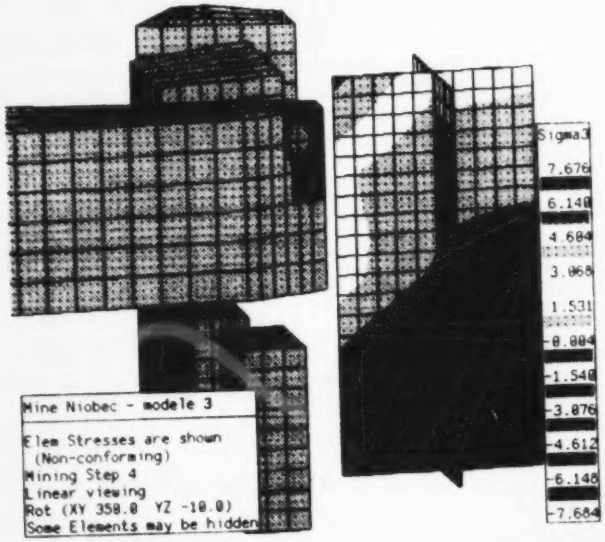

SigmaX
25.59
23.00
20.40
17.81
15.22
12.63
10.03
7.446
4.854
2.261
-0.331
Mine Niobec - modele 3
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

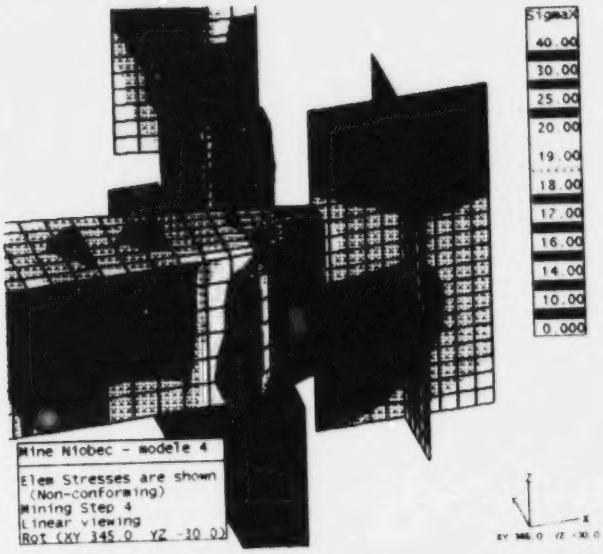

SigmaY
9.166
7.620
6.073
4.527
2.980
1.434
-0.112
-1.658
-3.205
-4.751
-6.298
Mine Niobec - modele 3
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

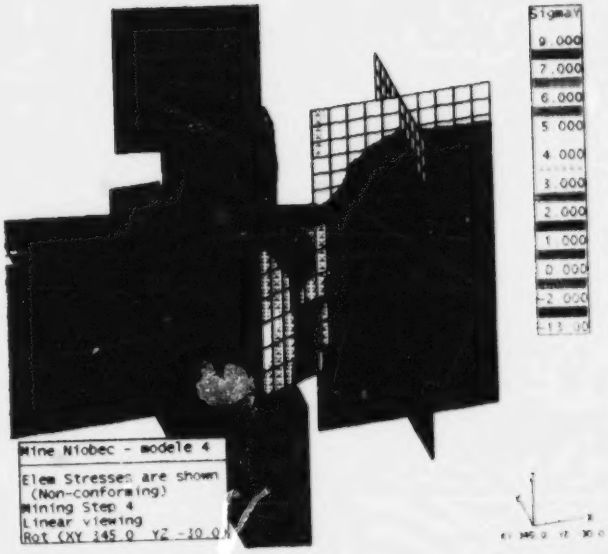

SigmaZ
7.799
6.281
4.763
3.245
1.727
0.209
-1.308
-2.826
-4.344
-5.862
-7.380
Mine Niobec - modele 3
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

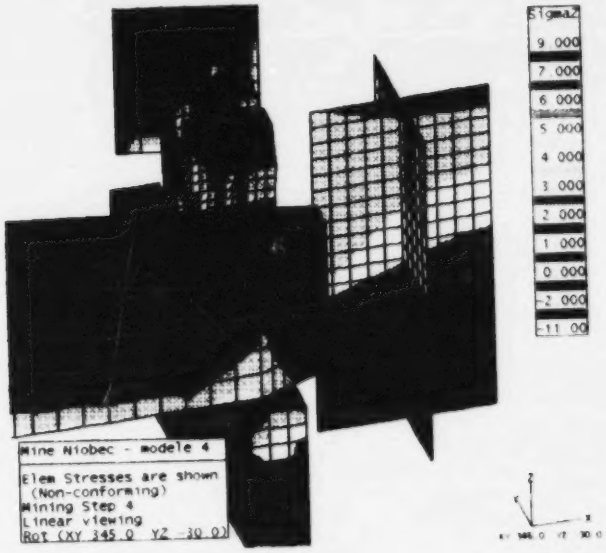

Sigma1
25.88
23.29
20.71
18.12
15.53
12.94
10.35
7.766
5.177
2.588
0.000
Mine Niobec - modele 3
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

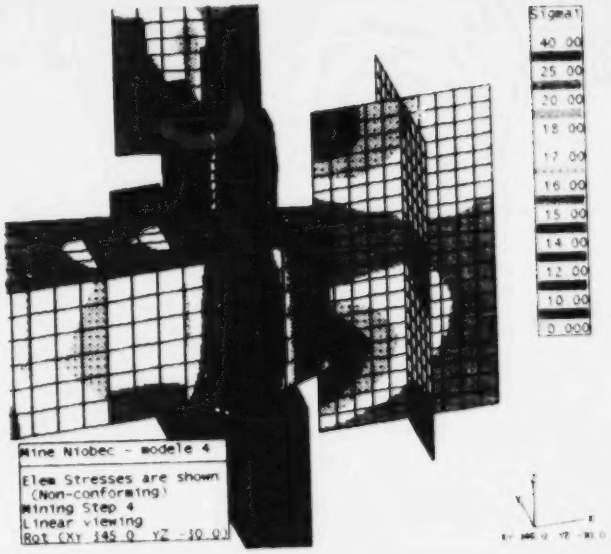

Sigma2
7.800
6.497
5.114
3.732
2.349
0.967
-0.415
-1.798
-3.180
-4.563
-5.946
Mine Niobec - modele 3
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

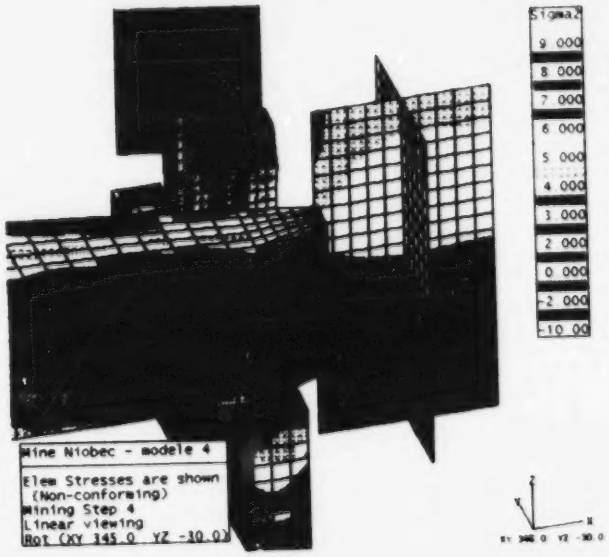

Sigma3
7.676
6.140
4.604
3.068
1.531
-0.004
-1.540
-3.076
-4.612
-6.148
-7.684
Mine Niobec - modele 3
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden

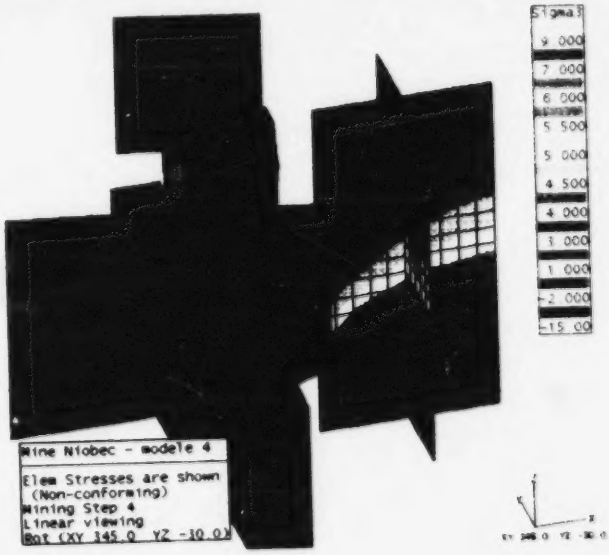

Sigma3
9.000
7.000
6.000
5.500
5.000
4.500
4.000
3.000
1.000
-2.000
-15.00
Mine Niobec - modele 4
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 145.0 YZ -30.0)

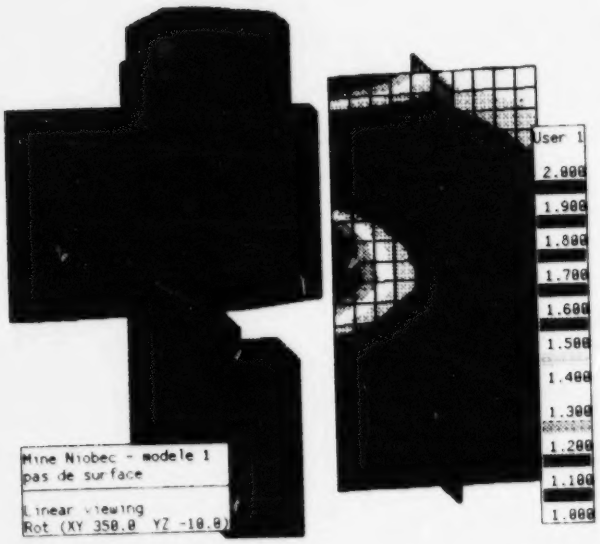

Sigma1
40.00
25.00
20.00
18.00
17.00
16.00
15.00
14.00
12.00
10.00
0.000
Mine Niobec - modele 4
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 145.0 YZ -30.0)

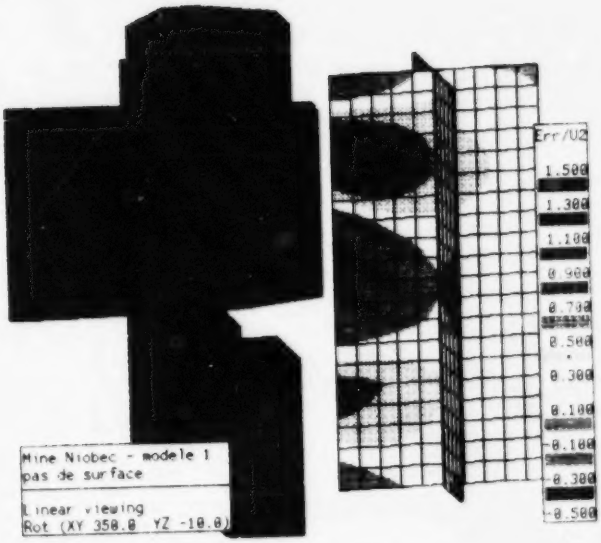

Sigma2
9.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0.000
-2.000
-11.00
Mine Niobec - modele 4
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 145.0 YZ -30.0)

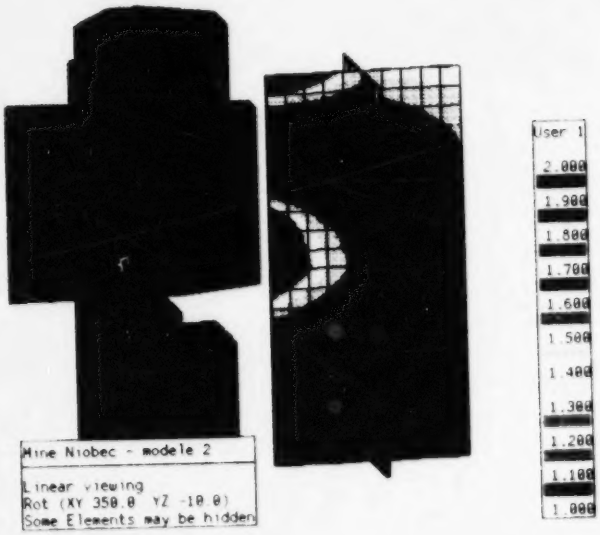

Sigma1
40.00
25.00
20.00
18.00
17.00
16.00
15.00
14.00
12.00
10.00
0.000
Mine Niobec - modele 4
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 145.0 YZ -30.0)

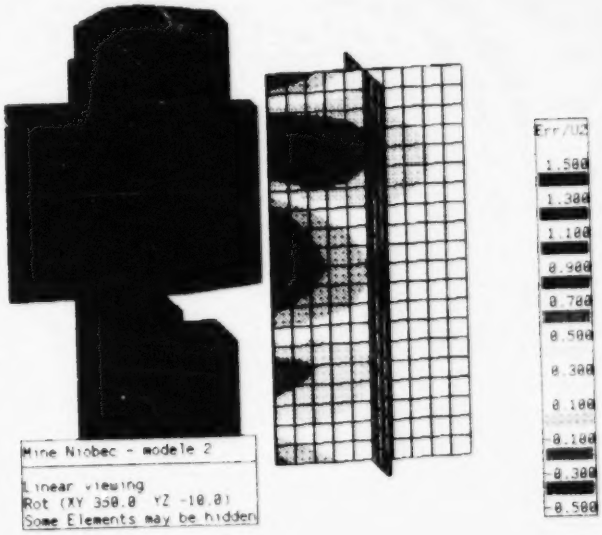

Sigma2
9.000
8.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
0.000
-2.000
-10.00
Mine Niobec - modele 4
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 145.0 YZ -30.0)

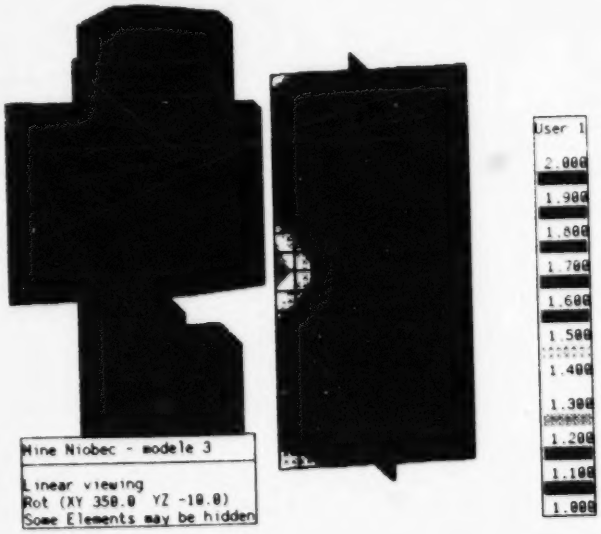

Sigma3
9.000
7.000
6.000
5.500
5.000
4.500
4.000
3.000
1.000
-2.000
-15.00
Mine Niobec - modele 4
Elem Stresses are shown
(Non-conforming)
Mining Step 4
Linear viewing
Rot (XY 145.0 YZ -30.0)

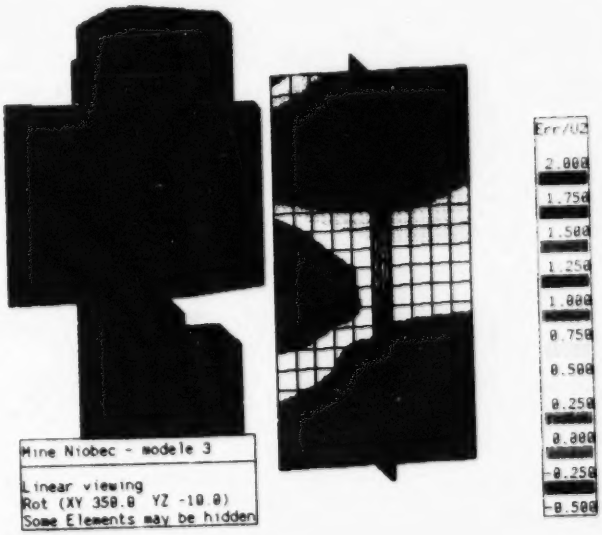

User 1
2.000
1.900
1.800
1.700
1.600
1.500
1.400
1.300
1.200
1.100
1.000
Mine Niobec - modele 1
pas de surface
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)

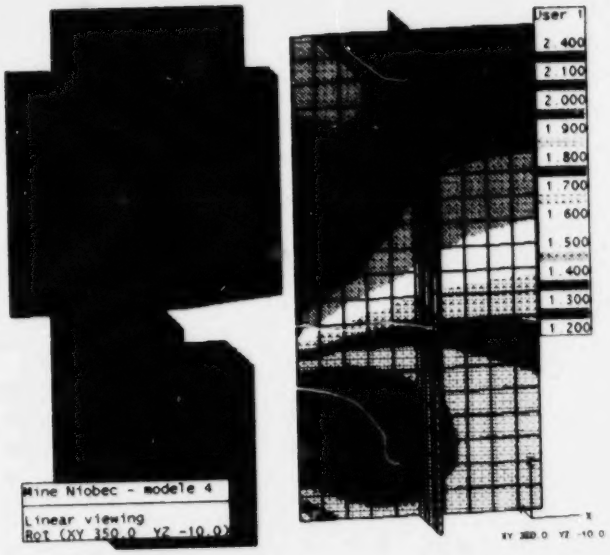

Err/U2
1.500
1.300
1.100
0.900
0.700
0.500
0.300
0.100
-0.100
-0.300
-0.500
Mine Niobec - modele 1
pas de surface
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)

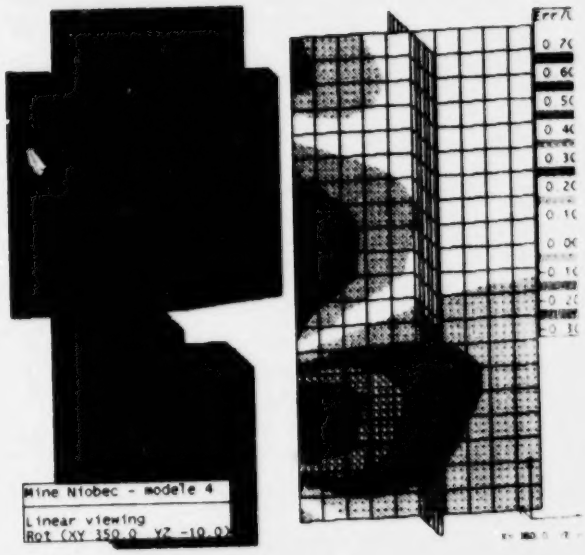

User 1
2.000
1.900
1.800
1.700
1.600
1.500
1.400
1.300
1.200
1.100
1.000
Mine Niobec - modele 2
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden


1.500
1.300
1.100
0.900
0.700
0.500
0.300
0.100
-0.100
-0.300
-0.500
Mine Niobec - modele 2
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden


User 1
2.000
1.900
1.800
1.700
1.600
1.500
1.400
1.300
1.200
1.100
1.000
Mine Niobec - modele 3
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden


2.000
1.750
1.500
1.250
1.000
0.750
0.500
0.250
0.000
-0.250
-0.500
Mine Niobec - modele 3
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
Some Elements may be hidden


Mine Niobec - modele 4
Linear viewing
Rot (XY 350.0 YZ -10.0)
User 1
2.400
2.100
2.000
1.900
1.800
1.700
1.600
1.500
1.400
1.300
1.200


Mine Niobec - modele 4
Linear viewing